

539.12.01(049.3)

КОНСТРУКТИВНАЯ КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ

Constructive Quantum Field Theory. The 1973 «Ettore Majorana» International School of Mathematical Physics. Ed. G. Velo and A. Wightman. (Lecture Notes in Physics, v. 25.), Berlin — Heidelberg — New York. Springer-Verlag, 1973.

Этот, 25-й том лекций по физике, которые регулярно выпускаются издательством Springer-Verlag, представляет собой сборник лекций по конструктивной теории поля (КТП), прочитанных в школе «Ettore Majorana» в 1973 г. Он является одновременно и введением в предмет, и обзором последних результатов.

Термин КТП был предложен несколько лет назад для того, чтобы выделить в математическом подходе к проблеме квантовой теории поля направление, которое занимается изучением конкретных лагранжианов взаимодействия и явно «конструирует» величины, с которыми имеют дело, в отличие от аксиоматической теории поля, ограничивавшейся рассмотрением общих свойств полей. Однако в настоящее время к конструктивному направлению относят практически все строгие работы по теории поля.

В первоначальных работах этого направления, принадлежащих Глимму и Джаффе, логическая последовательность действий была довольно сложной, но после недавних работ Нельсона и Остервальдера — Шредера по евклидовой формулировке теории поля, открывших возможность широкого применения метода континуального интегрирования, она значительно упростилась и выглядит сейчас следующим образом.

Выписываются континуальные интегралы для евклидовых функций Грина с ультрафиолетовым и пространственным обрезаниями, причем к лагранжиану взаимодействия, если надо, добавлены контрчлены (все эти величины математически хорошо определены), и затем доказывается, что существует предел, когда оба обрезания сни-

маются. Если это удалось доказать (в этом основная трудность — подчеркнем, что ряды теории возмущений непосредственно нельзя применять — они расходятся), то проверяются аксиомы Остервальдера — Шредера для евклидовых функций Грина, из которых следуют аксиомы Вайтмана. Отметим, что предел при снятии объемного обрезания может зависеть и при определенных значениях параметров в лагранжиане действительно зависит от выбора граничных условий; таким образом в теории поля имеет место фазовый переход.

Подчеркнем, что в современной КТП используются не фейнмановские континуальные интегралы в псевдоевклидовом пространстве, которые пока не имеют корректного определения, а евклидовы континуальные интегралы.

Замечательно, что евклидова формулировка позволяет применить в теории поля идеи и методы статистической физики и теории вероятностей. В первую очередь — это понятия фазового перехода (критическая точка по константе связи, критические индексы и др.) и спонтанного нарушения симметрии. В КТП сейчас установлено взаимно однозначное соответствие между многими строгими результатами статистической физики и теории поля. Особенно важными для КТП оказались такие результаты статистической физики, как неравенства Гриффитса, метод Боголюбова — Хацета, доказывающий существование термодинамического предела, теорема Ли — Янга о нулях статистической суммы, высоко- и низкотемпературные разложения. В свою очередь техника, развитая в КТП, начинает применяться в статистической физике.

В КТП рассматривались следующие модели: в 2-мерном пространстве-времени — полиномиальное взаимодействие скалярного поля (обозначается $P(\varphi)_2$ — цифра внизу — размерность пространства-времени), юкавское взаимодействие (Y_2), некоторые неполиномиальные взаимодействия (e^{φ})₂; в 3-мерном пространстве-времени φ_3^3 и в 4-мерном пространстве-времени φ_4^3 .

Наиболее полные результаты получены по теории $P(\varphi)_2$. Для ограниченного снизу полинома доказаны все аксиомы Вайтмана (этот важнейший результат был впервые получен Глиммом и Джаффе в 1972 г.). Для достаточно слабого взаимодействия доказано существование одночастичных состояний и S -матрицы. Для теории $\lambda\varphi_3^3$ с малой λ доказано отсутствие двухчастичных связанных состояний, а для $\lambda(\varphi^6 - \varphi^4)$ их наличие. Заметим, что убедительное хотя бы на физическом уровне строгости рассмотрение связанных состояний в теории поля до этого фактически отсутствовало. Кроме того, для четных полиномов с достаточно сильным взаимодействием анонсирован результат Добрушина и Минлоса о том, что всегда имеется спонтанное нарушение симметрии. Для $(e^{\varphi})_2$ доказаны аксиомы Вайтмана и существование массовой щели. В теории Y_2 удалось снять ультрафиолетовое и пространственное обрезание, но аксиомы Вайтмана пока не доказаны. Для φ_3^3 и φ_4^3 снято ультрафиолетовое обрезание (в φ_3^3 теории гамильтониан неограничен снизу).

Перейдем теперь непосредственно к обзору статей, содержащихся в книге. Отметим, что в ней представлены почти все зарубежные ученые, внесшие наиболее значительный вклад в развитие КТП.

Книга открывается статьей М. Рида «Функциональный анализ и теория вероятностей», с дополнением, написанным Ф. Колелла и О. Ланфордом. Эта статья содержит тот минимум сведений из функционального анализа и теории вероятностей (в основном из теории обобщенных случайных процессов), который теперь необходим для всякого, кто занимается КТП, а также для понимания последующих статей.

Значительное место в сборнике занимают две большие статьи Дж. Глимма, А. Джаффе и Т. Спенсера под общим названием «Корпускулярная структура модели $P(\varphi)_2$ со слабым взаимодействием и другие приложения высокотемпературных разложений». Первая статья содержит общий обзор КТП, обсуждение ее связей с физикой и постановку очередных задач. Авторы считают, что ближайшими главными нерешенными задачами являются изучение окрестности критической точки по константе связи и анализ многочастичных состояний в теории $P(\varphi)_2$. Кроме этого, они ясно и конкретно обсуждают и другие нерешенные проблемы, выделяя для этого специальный параграф. Во второй статье излагается метод высокотемпературных (кластерных) разложений, аналогичный разложениям в статистической физике. Этот метод используется (в других работах) для доказательства существования термодинамического предела и анализа спектра гамильтониана.

Если, так сказать, классики конструктивного направления Глимм и Джаффе опираются на аналогии со статистической физикой, то Гуэрра, Розен и Саймон в своих недавних работах указали новое направление, которое использует результаты статистической физики непосредственно. Их основное утверждение состоит в том, что евклидова теория самодельствующего бозе-поля представляет собой не что иное, как модель классической статистической механики. Это позволило им развить методы, которые, в отличие от метода Глимма и Джаффе, применимы и при больших значениях константы связи и, что особенно важно, в области фазового перехода. Результаты этих исследований, под общим заглавием «Теория бозе-поля как классическая статистическая механика» подробно изложены в статьях Ф. Гуэрры «Вариационный принцип и уравне-

ния равновесного состояния», Л. Розена «Решеточное приближение и неравенства для корреляционных функций» и Б. Саймона «Теория поля ϕ^4 как классическая модель Изинга». Одним из основных результатов авторов является ряд строгих теорем о бозе-любловских квазисредних, которые частично подтверждают обычные физические представления о нарушении симметрии.

Далее, К. Остервальдер в статье «Евклидовские функции Грина и функции Вайтмана» дает подробное доказательство (исправленное и дополненное) известной теоремы Остервальдера — Шредера (о ней мы упоминали выше) об эквивалентности вайтмановской и евклидовой формулировок теории поля. Эта работа носит чисто «аксиоматический» характер и использует только технику аналитического продолжения обобщенных функций.

В статье Е. Нельсона «Теория вероятностей и евклидова теория поля» излагается его подход к КТП с точки зрения марковских случайных полей. В частности, доказана марковость теории $P(\phi)_2$ с пространственным обрезанием. Из аксиом Нельсона следует существование релятивистского квантового поля, однако обратное неверно. Условие марковости, введенное Нельсоном, играет важную роль в работах по двумерным моделям, особенно для связи со статистической физикой.

Кроме того, в книге содержится несколько небольших статей: Дж. Димока «Теория возмущений для швингеровских функций в теории $P(\phi)_2$ », где доказано, что ряд теории возмущений, как известно, расходящийся, является асимптотическим, как это и ожидалось; Ч. Ньюмана «Непрерывные спины и теорема Ли — Янга», в которой теорема Ли — Янга о нулях статистической суммы обобщается на случай непрерывных спинов — это может оказаться полезным и в теории поля и в статфизике и, наконец, статья К. Остервальдера «Евклидовы ферми-поля», из которой следует, что в случае ферми-полей не достигнуто еще такой ясности, как для бозе-полей, и где сформулированы задачи, которые, по мнению автора, необходимо решить в этом направлении.

Несколько выпадает из общего содержания сборника статья К. Хеппа «Конструктивная макроскопическая квантовая электродинамика» (несмотря на «конструктивное» название!), в которой излагаются строгие работы автора и Е. Либа по квантовой электродинамике лазера в термодинамическом пределе; в частности, изучается неравновесное поведение лазера (в приближении модели Дикке) при наличии взаимодействия излучения с резервуаром, что приводит к появлению затухания.

Рецензируемый сборник является, по нашему мнению, хорошим введеншем в предмет и проблематику КТП, которое с большой ясностью и глубиной написано создателями этого направления в теории поля. Необходимость его перевода не вызывает сомнений. Ортодоксальные физики, «занимающиеся теорией поля», почерпнут в нем для себя много полезного (например, по поводу современного понимания проблемы нарушения симметрии, проблемы связанных состояний, статуса теории возмущений и др.). Авторы сборника ставят новые и, как мы видели, вполне физические задачи, которые, по-видимому, способна решить только КТП. Таким образом, КТП в настоящее время пытается дать и дает ответы на вопросы, реально интересующие физиков.

Отдавая должное замечательным результатам, полученным конструктивной квантовой теорией поля при изучении суперперенормируемых моделей, хотелось бы надеяться, что дело этим не ограничится, и в недалеком будущем будут развиты методы, с помощью которых удастся продвинуться в понимании более реалистических взаимодействий.

И. В. Волович, В. А. Загребнов